



## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Messen der Konzentration von Ionen, insbesondere von  $H^+$ -Ionen in einer Meßflüssigkeit mittels mindestens eines Ionen-Sensitiven-Feld-Effekt-Transistors (ISFET), der innerhalb der Vorrichtung in einer elektrischen Schaltung derart integriert ist, daß diese ein Ausgangssignal liefert, das ein Maß für die Konzentration der Ionen in der Meßflüssigkeit ist.

Derartige Vorrichtungen werden üblicherweise zur Messung des pH-Werts der Meßflüssigkeit verwendet. Der pH-Wert wird von einer Vielzahl in der Meßflüssigkeit gelöster Inhaltsstoffe bestimmt, bspw. von der Konzentration der  $H^+$ - oder der  $OH^-$ -Ionen.

Bei kommunaler und industrieller Abwasseraufbereitung werden chemische Reaktionen genutzt, um bestimmte Inhaltsstoffe auszufällen, das Wasser zu neutralisieren und zu entgiften. Der pH-Wert spielt für den richtigen Ablauf dieser Reaktionen eine Schlüsselrolle. Die mechanischen Absetzvorgänge in den Kläranlagen können durch saure oder alkalische Abwässer ungünstig beeinflusst werden. Die biologischen Vorgänge bei der Selbstreinigung der Gewässer oder in den aeroben und anaeroben biologischen Stufen der Kläranlagen sind ebenfalls an bestimmte pH-Werte gebunden und werden bei Abweichungen von diesen in ihrem Ablauf gestört. Zur Automatisierung dieser Betriebsabläufe ist eine kontinuierliche Messung des pH-Werts unentbehrlich.

Die Konzentration von  $H^+$ -Ionen in einer Meßflüssigkeit kann bspw. mittels eines ionensensitiven Feldeffekttransistors (pH-ISFET), insbesondere mittels eines Wasserstoff-ISFET gemessen werden. pH-ISFETs haben gegenüber herkömmlichen Glaselektroden-Meßketten den Vorteil, daß sie alterungsunempfindlich sind und deshalb eine wesentlich höhere Standzeit aufweisen. Der Widerstand des Kanals des pII-ISFETs, und damit das Gatepotential, ändert sich linear zu der Konzentration der  $H^+$ -Ionen in der Meßflüssigkeit. Damit der pH-ISFET ein Ausgangssignal liefert, das zu der an dem pH-ISFET anliegenden Eingangsspannung proportional ist, liegt an dem pH-ISFET ein konstanter Drainstrom an. Als Ausgangssignal liefert der pH-ISFET bspw. eine Ausgangsspannung. Diese Ausgangsspannung wird gegen eine von der Konzentration der  $H^+$ -Ionen nicht beeinflussbare Referenzelektrode gemessen, die ebenfalls in der Meßflüssigkeit angeordnet ist.

Vorrichtungen der eingangs genannten Art sind in unterschiedlichen Ausführungsformen aus dem Stand der Technik bekannt. Die bekannten Vorrichtungen unterscheiden sich untereinander insbesondere in der Art und Weise, wie der pII-ISFET in die Schaltung der Vorrichtung integriert ist. In *Analytical and Biomedical Applications of Ion-Selective Field-Effect Transistors*, P. Bergveld, A. Sibbald, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam 1988, Chapter 8, ISFET instrumentation, S. 101-107 sind unterschiedliche Arten der Beschaltung eines pH-ISFET in einer Vorrichtung der eingangs genannten Art offenbart.

Dort ist in Fig. 8.3 ein Schaltplan dargestellt, der in Kapitel 8.5 (a.a.O., S. 104f.) näher erläutert wird. Demnach ist der pII-ISFET in einen Elektrometersubtrahierer (mit den Operationsverstärkern  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ) integriert, und zwar derart, daß er an Stelle desjenigen Widerstands des Elektrometersubtrahierers in der Schaltung angeordnet ist, durch den der Verstärkungsfaktor des Elektrometersubtrahierers eingestellt werden kann. Der Elektrometersubtrahierer weist eine Energieversorgung auf mit einer Stromquelle, die einen konstanten Strom  $I$  liefert, und einer einstellbaren Referenzspannung  $V_{ref}$ . Am Eingang des Elektrometersubtrahierers liegt an einem Widerstand  $R_1$  eine konstante Spannung

$I \cdot R_1$  an. Als Ausgangssignal liefert der Elektrometersubtrahierer eine Ausgangsspannung, die umgekehrt proportional zu dem Widerstand des Kanals des pH-ISFETs ist. Die Ausgangsspannung wird mittels eines Invertierers ( $A_4$ ) invertiert. Schließlich wird die Differenz zwischen der invertierten Ausgangsspannung und der Referenzspannung  $V_{ref}$  mittels eines Operationsverstärkers ( $A_5$ ) verstärkt. Der Ausgang des abschließenden Operationsverstärkers ( $A_5$ ) wird an den Eingang des Elektrometersubtrahierers rückgeführt, so daß ein Rückkopplungsstrom über einen Widerstand ( $R_2$ ) fließt. Dadurch können die Source- und Drainspannungen des pH-ISFET gesteuert werden. Aufgrund dieser Steuerung können der Drainstrom ( $I_D$ ) und die Drain-Source-Spannung ( $V_{DS}$ ) konstant gehalten werden.

Die Beschaltung des pH-ISFET in einem Elektrometersubtrahierer hat jedoch den Nachteil, daß eine solche Schaltung sehr aufwendig zu realisieren ist. Insbesondere benötigt sie eine große Anzahl von Bauelementen, z. B. drei Operationsverstärker ( $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ) und sechs ohmsche Widerstände ( $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_6$ ,  $R_7$ ,  $R_8$ ). Aufgrund der großen Anzahl von Bauelementen ist die Herstellung der Schaltung zeitaufwendig und kompliziert. Die bekannte Beschaltung des pH-ISFET ist zudem äußerst anfällig gegenüber einer Temperaturdrift.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht deshalb darin, eine Vorrichtung der eingangs genannten Art dahingehend auszugestalten und weiterzubilden, daß ein pH-ISFET in einer möglichst einfachen Schaltung, die insbesondere wenige Bauelemente aufweist, integriert ist, die zudem bezüglich einer Temperaturdrift wenig anfällig ist.

Zur Lösung dieser Aufgabe schlägt die Erfindung vor, daß der mindestens eine pH-ISFET zusammen mit mindestens drei Widerständen in einer Brückenschaltung geschaltet ist.

Auf diese Weise ist der pH-ISFET in einer besonders einfach aufgebauten Schaltung integriert. Die Schaltung besteht aus einer äußerst geringen Anzahl von Bauteilen und kann somit kostengünstig hergestellt werden. Trotz des einfachen Aufbaus der Schaltung, weist die erfindungsgemäße Vorrichtung alle notwendigen Merkmale auf, um eine einwandfreie Funktion des pH-ISFET sicherzustellen. So liefert der in der Schaltung betriebene pH-ISFET bspw. ein Ausgangssignal, das zu der an dem pH-ISFET anliegenden Eingangsspannung proportional ist. Zudem ist das Ausgangssignal ein zuverlässiges Maß für die Konzentration an Ionen in der Meßflüssigkeit und damit für den pH-Wert der Meßflüssigkeit. Zwischen dem dekadischen Logarithmus der  $H^+$ -Ionenkonzentration in der Meßflüssigkeit und dem Ausgangssignal der Vorrichtung besteht vorzugsweise ein linearer Zusammenhang.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird vorgeschlagen, daß an Einspeisestellen der Brückenschaltung eine Brückenspeisespannung anliegt und daß die Diagonalspannung der Brückenschaltung zwischen einem p-Eingang und einem n-Eingang eines ersten Operationsverstärkers anliegt, dessen Ausgang über zwei Widerstände der Brückenschaltung zu den Eingängen des ersten Operationsverstärkers rückgekoppelt ist.

Die an dem pH-ISFET anliegende Drain-Source-Spannung  $U_{DS}$  wird mit Hilfe der Brückenspeisespannung  $U_{BSS}$  und der Widerstände  $R_2$  und  $R_3$  eingestellt, über die der Ausgang des ersten Operationsverstärkers zu den Eingängen des ersten Operationsverstärkers rückgekoppelt ist. Dabei gilt der folgende Zusammenhang:

$$U_{DS} = U_{BSS} \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3}$$

Der Drain-Source-Strom  $I_{DS}$  kann dann mittels der Drain-

Source-Spannung  $U_{DS}$  und des Widerstands  $R_1$  eingestellt werden, über den der Ausgang des ersten Operationsverstärkers zu den Eingängen des ersten Operationsverstärkers rückgekoppelt ist. Dabei gilt der folgende Zusammenhang:

$$I_{DS} = \frac{U_{BSS} - U_{DS}}{R_1}$$

Mittels dieser Zusammenhänge kann der Arbeitspunkt des pH-ISFET auf einfache Weise ohne Änderung der Brückenspeisespannung  $U_{BSS}$  eingestellt werden.

Vorteilhafterweise ist der Ausgang des ersten Operationsverstärkers über einen Kondensator auf den n-Eingang des ersten Operationsverstärkers zurückgeführt. Dadurch können Schwingungen der Vorrichtung unterdrückt werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind die Widerstände als ohmsche Widerstände ausgebildet. Es ist aber auch denkbar, die Widerstände, über die der Ausgang des Operationsverstärkers zu den Eingängen des ersten Operationsverstärkers rückgekoppelt ist, durch Stromquellen zu ersetzen. Eine Stromquelle kann durch einen in der Sättigung betriebenen Feldeffekttransistor realisiert werden.

Vorteilhafterweise ist das Ausgangssignal als das Drain-Potential des pH-ISFET ausgebildet. Das Drain-Potential folgt der durch eine Änderung des pH-Werts hervorgerufenen Änderung des Gate-Potentials linear, da der Operationsverstärker als P-Regler arbeitet. Der Regelkreis hat die Übertragungsfunktion

$$\frac{\partial \varphi_D}{\partial \varphi_G} = 1$$

In einem eingeregelter Zustand der Schaltung ist die Brücke abgeglichen, d. h. die Diagonalspannung  $U_d = 0$ . In dem abgeglichenen Zustand der Brücke liegt zwischen den beiden in Reihe geschalteten Widerständen auf der einen Seite der Brücke das gleiche Potential an wie zwischen dem Widerstand und dem Drain des pH-ISFET auf der anderen Seite der Brücke. Deshalb kann in dem abgeglichenen Zustand der Brücke das Ausgangssignal auch zwischen den beiden in Reihe geschalteten Widerständen auf der einen Brückenseite abgegriffen werden.

Jeder der drei Widerstände der Brückenschaltung kann selbstverständlich auch durch eine Vielzahl von in Reihe oder parallel geschalteter Widerstände ersetzt werden. Das Ausgangssignal kann an beliebigen Stellen zwischen diesen Widerständen abgegriffen werden. Je nach der Größe der einzelnen Widerstände ist das derart abgegriffene Ausgangssignal um eine Offsetspannung gegenüber dem ursprünglich zwischen den beiden in Reihe geschalteten Widerständen auf der einen Seite der Brückenschaltung bzw. zwischen dem Drain des pH-ISFET und dem Widerstand auf der anderen Seite der Brückenschaltung abgegriffenen Ausgangssignal verschoben. Auf diese Weise kann der Nullpunkt der Schaltung (in der Regel bei pH 7) unabhängig von den übrigen Betriebsgrößen des pH-ISFET (insbesondere Drain-Source-Spannung  $U_{DS}$  und Drain-Source-Strom  $I_{DS}$ ) eingestellt werden.

Vorzugsweise ist das Ausgangssignal der Vorrichtung unabhängig von Temperatureinflüssen. Dazu wird gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung vorgeschlagen, daß die Vorrichtung eine Referenzelektrode aufweist, die ebenfalls in der Meßflüssigkeit angeordnet ist, wobei das Ausgangssignal als eine Ausgangsspannung ausgebildet ist, die aus der Differenz des Drain-Potentials des pH-ISFET und eines Referenzpotentials der Referenzelektrode gebildet ist.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird vorgeschlagen, daß die Vorrichtung einen Referenz-ISFET aufweist, der ebenfalls in der Meßflüssigkeit angeordnet ist, wobei das Ausgangssignal als eine Ausgangsspannung ausgebildet ist, die aus der Differenz des Drain-Potentials des pH-ISFET und des Drain-Potentials des Referenz-ISFET gebildet ist. Der Referenz-ISFET ist vorteilhafterweise in einer Brückenschaltung beschaltet, wie der pH-ISFET der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Gemäß dieser Weiterbildung wird nicht nur die herkömmliche Glaselektrode zum Messen der Ionenkonzentration durch einen pH-ISFET ersetzt. Vielmehr wird auch die als herkömmliche Glaselektrode ausgebildete Referenzelektrode durch einen ISFET ersetzt.

Damit die Vorrichtung ein Ausgangssignal liefert, das eine möglichst geringe Lichtempfindlichkeit aufweist, wird gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung vorgeschlagen, daß das Drain-Potential des pH-ISFET und ein Pseudoreferenzpotential einer Potentialableitelektrode ein erstes Differenzsignal bilden und das Drain-Potential des Referenz-ISFET und das Pseudoreferenzpotential ein zweites Differenzsignal bilden, wobei das Ausgangssignal als die Differenz aus dem ersten und dem zweiten Differenzsignal ausgebildet ist, und an den Gate-Regionen des pH-ISFET und des Referenz-ISFET gleiche Lichtverhältnisse herrschen. Die Potentialableitelektrode ist vorzugsweise als ein Metallstift ausgebildet, der mit einer Silber- bzw. einer Silberchloridbeschichtung versehen ist. Der Referenz-ISFET ist in einer Meßkammer mit konstantem pH-Wert (z. B. pH = 7) angeordnet. Die Meßkammer steht über ein Diaphragma mit der Meßflüssigkeit in Verbindung.

Bei dieser Vorrichtung werden der pH-ISFET und der Referenz-ISFET in einem sogenannten Differenzmode gegen das Pseudoreferenzpotential der Potentialableitelektrode betrieben. Aufgrund der Differenzbildung sind die lichtabhängigen Signalanteile des pH-ISFET und des Referenz-ISFET in den beiden Differenzsignalen fast vollständig kompensiert. Somit ist auch das Ausgangssignal weitestgehend unabhängig, bei identischen Lichtverhältnissen an den Gate-Regionen des pH-ISFET und des Referenz-ISFET sogar vollständig unabhängig, von den Lichtverhältnissen.

Auch bei dieser Vorrichtung, die in dem Differenzmode gegen das Pseudoreferenzpotential der Potentialableitelektrode betrieben wird, ist der pH-ISFET zusammen mit mindestens drei Widerständen vorteilhafterweise in einer Brückenschaltung geschaltet. Der Betrieb der Vorrichtung gegen das Pseudoreferenzpotential der Potentialableitelektrode hat die angegebenen Vorteile aber auch ohne diese Merkmale des Kennzeichens des Patentanspruchs 1. Der Schutz des Patentes soll sich deshalb auch auf Vorrichtungen der zuletzt genannten Art beziehen, bei denen die im Kennzeichen des Patentanspruchs 1 genannten Merkmale fehlen.

Die Brückenspeisespannung ist vorzugsweise konstant. Die konstante Brückenspeisespannung dient dem Operationsverstärker der Schaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung dazu, eine möglichst stabile Ausgangsspannung zu erzeugen. Die Stabilität der Ausgangsspannung kann nicht besser sein als die der Brückenspeisespannung. Um die Brückenspeisespannung möglichst stabil zu halten, kommt es deshalb auf eine möglichst stabile Spannungsquelle an.

Es sind verschiedene Möglichkeiten bekannt, eine konstante Spannung zu erzeugen. Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird vorgeschlagen, daß die Brückenspeisespannung als eine Bandabstands-Spannung einer sog. Bandgap-Diode ausgebildet ist.

Vorzugsweise ist die Drain-Source-Spannung des pH-ISFET während des Meßvorgangs konstant. Zusätzlich oder alternativ ist der Drain-Source-Strom des pH-ISFET wäh-

rend des Meßvorgangs konstant. Der Betriebszustand, in dem sowohl die Drain-Source-Spannung als auch der Drain-Source-Strom konstant sind wird auch als Constant-Charge-Mode (CCM) bezeichnet. Das Gate des ISFET stellt einen Kondensator dar. Durch einen Betrieb des ISFET im CCM bleibt die Ladung des Kondensators konstant, wodurch keine Umladevorgänge auftreten. Dadurch kann der ISFET schneller ansprechen und liefert einen genaueren Meßwert, da auch keine Hystereffekte auftreten können.

Im folgenden werden zwei bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen Schaltplan einer erfindungsgemäßen Vorrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform, und

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung gemäß einer zweiten Ausführungsform.

In Fig. 1 ist eine erfindungsgemäße Vorrichtung in ihrer Gesamtheit mit dem Bezugszeichen 1 bezeichnet. Die Vorrichtung 1 weist eine elektronische Schaltung auf, in der ein ionensensitiver Feldeffekttransistor (pH-ISFET) 2 integriert ist. Mittels des pH-ISFET 2 kann die Konzentration von Ionen in einer Meßflüssigkeit gemessen werden. Aus der Ionenkonzentration kann dann der pH-Wert der Meßflüssigkeit ermittelt werden.

Der pH-ISFET 2 ist zusammen mit drei Widerständen ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ) in einer Brückenschaltung geschaltet. Über zwei Einspeisestellen 3 liegt eine konstante Brückenspeisespannung  $U_{SS}$  an der Brückenschaltung. Die Diagonalspannung  $U_D$  der Brückenschaltung liegt zwischen einem p-Eingang 4 und einem n-Eingang 5 eines ersten Operationsverstärkers OP an. Der Ausgang des Operationsverstärkers OP ist über zwei der drei Widerstände ( $R_1$ ,  $R_2$ ) der Brückenschaltung zu den Eingängen 4, 5 des Operationsverstärkers OP rückgekoppelt. An dem n-Eingang 5 des Operationsverstärkers OP liegt das Drain-Potential  $\phi_D$  des pH-ISFET 2 an. Der Operationsverstärker OP arbeitet als P-Regler in der Schaltung. Aus diesem Grund folgt das Drain-Potential  $\phi_D$  dem Gate-Potential  $\phi_G$ . Der erste Operationsverstärker OP ist symmetrisch beschaltet, d. h. an dessen Eingängen 4, 5 liegt in etwa die gleiche Impedanz bzgl. Masse an. Das hat den Vorteil, daß Gleichtaktstörungen an den Eingängen 4, 5, auch aufgrund von temperaturbedingten Widerstandsänderungen, besser kompensiert werden, was zu einer besseren Linearität des Operationsverstärkers OP führt.

Durch eine Änderung des pH-Wertes der Meßflüssigkeit verändert sich das Gate-Potential  $\phi_G$  des pH-ISFET 2. Das führt zu einer Änderung des Kanal-Widerstands und damit auch zu einer Änderung des Drain-Potentials  $\phi_D$ . Der n-Eingang 5 des Operationsverstärkers OP mit dem Drain-Potential  $\phi_D$  wird aus der Vorrichtung 1 herausgeführt. Die Differenz zwischen dem Drain-Potential  $\phi_D$  und einem Referenzpotential  $\phi_{REF}$  wird als Ausgangsspannung  $U_{PH}$  bezeichnet. Die Ausgangsspannung  $U_{PH}$  ist das Ausgangssignal der Vorrichtung 1 und ist proportional zu dem pH-Wert der Meßflüssigkeit. Die Ausgangsspannung  $U_{PH}$  der Schaltung ist aufgrund des symmetrischen Aufbaus der Schaltung weitgehend unabhängig von der Temperatur. In der in Fig. 1 dargestellten Vorrichtung 1 wird das Referenzpotential mittels einer Referenzelektrode 6 erzeugt, die ebenfalls in der Meßflüssigkeit angeordnet ist. Es ist aber auch denkbar, die Referenzelektrode 6 durch eine weitere erfindungsgemäße Vorrichtung (vgl. Fig. 2) zu ersetzen. Dann könnte das Drain-Potential der weiteren erfindungsgemäßen Vorrichtung als Referenzpotential  $\phi_{REF}$  verwendet werden.

Die Widerstände  $R_4$ ,  $R_5$  und die übrige Schaltung 7 der Vorrichtung 1 wirken als Spannungsteiler. Zwischen den Einspeisestellen 3 kann sich somit eine von der Betriebsspannung  $+U_B$ ,  $-U_B$  verschiedene Spannung (Brückenspei-

sespannung  $U_{BSS}$ ) einstellen. Die Brückenspeisespannung  $U_{BSS}$  ist als eine sog. floatende Spannungsreferenz ohne festes Bezugspotential ausgebildet. An der oberen Einspeisestelle 3 der übrigen Schaltung 7 kann sich ein Potential zwischen  $+U_B - U_{R4}$  und  $-U_B + U_{BSS} + U_{R5}$  einstellen. An der unteren Einspeisestelle 3 der übrigen Schaltung 7 kann sich ein Potential zwischen  $+U_B - U_{BSS} - U_{R4}$  und  $-U_B + U_{R5}$  einstellen.

Zwischen den beiden Einspeisestellen 3 liegt jedoch stets die Brückenspeisespannung  $U_{BSS}$  an.

In Fig. 2 ist eine erfindungsgemäße Vorrichtung 1 dargestellt, bei der die Referenzelektrode 6 als ein Referenz-ISFET 8 ausgebildet ist. Damit die Vorrichtung 1 aus Fig. 2 ein Ausgangssignal  $U_{PH}$  liefert, das eine möglichst geringe Lichtempfindlichkeit aufweist, bilden das Drain-Potential  $\phi_D$  des pH-ISFET 2 und ein Pseudoreferenzpotential einer Potentialableitelektrode 9 ein erstes Differenzsignal  $U_{diff1}$ , und das Drain-Potential  $V_{REF}$  des Referenz-ISFET 8 und das Pseudoreferenzpotential bilden ein zweites Differenzsignal  $U_{diff2}$ . Das Ausgangssignal  $U_{PH}$  ist als die Differenz aus dem ersten Differenzsignal  $U_{diff1}$  und dem zweiten Differenzsignal  $U_{diff2}$  ausgebildet. An den Gate-Regionen des pH-ISFET 2 und des Referenz-ISFET 8 herrschen vorzugsweise die gleichen Lichtverhältnisse. Die Potentialableitelektrode 9 ist vorzugsweise als ein Metallstift ausgebildet, der mit einer Silber- bzw. einer Silberchloridbeschichtung versehen ist. Der Referenz-ISFET 8 ist in einer Meßkammer 10 angeordnet, in der sich eine Referenzlösung 13 mit einem konstanten pH-Wert (z. B. pH 7) befindet. Die Meßkammer 10 steht über ein Diaphragma 11 mit der Meßflüssigkeit 12 in Verbindung.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung (1) zum Messen der Konzentration von Ionen, insbesondere von Wasserstoff ( $H^+$ )-Ionen, in einer Meßflüssigkeit (12) mittels mindestens eines Ionen-Sensitiven-Feld-Effekt-Transistors (pH-ISFET) (2), der innerhalb der Vorrichtung (1) in einer elektrischen Schaltung derart integriert ist, daß diese ein Ausgangssignal liefert, das ein Maß für die Konzentration der Ionen in der Meßflüssigkeit (12) ist, dadurch gekennzeichnet, daß der mindestens eine pH-ISFET (2) zusammen mit mindestens drei Widerständen ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ) in einer Brückenschaltung geschaltet ist.
2. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß an Einspeisestellen (3) der Brückenschaltung eine Brückenspeisespannung ( $U_{BSS}$ ) anliegt und daß die Diagonalspannung ( $U_D$ ) der Brückenschaltung zwischen einem p-Eingang (4) und einem n-Eingang (5) eines ersten Operationsverstärkers (OP) anliegt, dessen Ausgang über zwei Widerstände ( $R_1$ ,  $R_2$ ) der Brückenschaltung zu den Eingängen (4, 5) des ersten Operationsverstärkers (OP) rückgekoppelt ist.
3. Vorrichtung (1) nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausgang des ersten Operationsverstärkers (OP) über einen Kondensator auf den n-Eingang (5) des ersten Operationsverstärkers (OP) zurückgeführt ist.
4. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Widerstände ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ) als ohmsche Widerstände ausgebildet sind.
5. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal als das Drain-Potential ( $\phi_D$ ) des pH-ISFET (2) ausgebildet ist.
6. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal der

Vorrichtung (1) unabhängig von Temperatureinflüssen ist.

7. Vorrichtung (1) nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung (1) eine Referenzelektrode (6) aufweist, die ebenfalls in der Meßflüssigkeit (12) angeordnet ist, wobei das Ausgangssignal als eine Ausgangsspannung ( $U_{pH}$ ) ausgebildet ist, die aus der Differenz des Drain-Potentials ( $\phi_D$ ) des pH-ISFET (2) und eines Referenzpotentials ( $\phi_{REF}$ ) der Referenzelektrode (6) gebildet ist.

8. Vorrichtung (1) nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung (1) einen Referenz-ISFET (8) aufweist, der ebenfalls in der Meßflüssigkeit (12) angeordnet ist, wobei das Ausgangssignal als eine Ausgangsspannung ( $U_{pH}$ ) ausgebildet ist, die aus der Differenz des Drain-Potentials ( $\phi_D$ ) des pH-ISFET (2) und des Drain-Potentials ( $\phi_{REF}$ ) des Referenz-ISFET (8) gebildet ist.

9. Vorrichtung (1) insbesondere nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Drain-Potential ( $\phi_D$ ) des pH-ISFET (2) und ein Pseudoreferenzpotential einer Potentialableitelektrode (9) ein erstes Differenzsignal ( $U_{diff1}$ ) bilden und das Drain-Potential ( $\phi_{REF}$ ) des Referenz-ISFET (8) und das Pseudoreferenzpotential ein zweites Differenzsignal ( $U_{diff2}$ ) bilden, wobei das Ausgangssignal ( $U_{pH}$ ) als die Differenz aus dem ersten und dem zweiten Differenzsignal ausgebildet ist und an den Gate-Regionen des pH-ISFET (2) und des Referenz-ISFET (8) gleiche Lichtverhältnisse herrschen.

10. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Brückenspeisespannung ( $U_{BSS}$ ) als eine Bandabstands-Referenzspannung einer Bandgap-Diode ausgebildet ist.

11. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Drain-Source-Spannung ( $U_{DS}$ ) des pH-ISFET (2) während des Meßvorgangs konstant ist.

12. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Drain-Source-Strom ( $I_{DS}$ ) des pH-ISFET (2) während des Meßvorgangs konstant ist.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

45

50

55

60

65

- Leerseite -

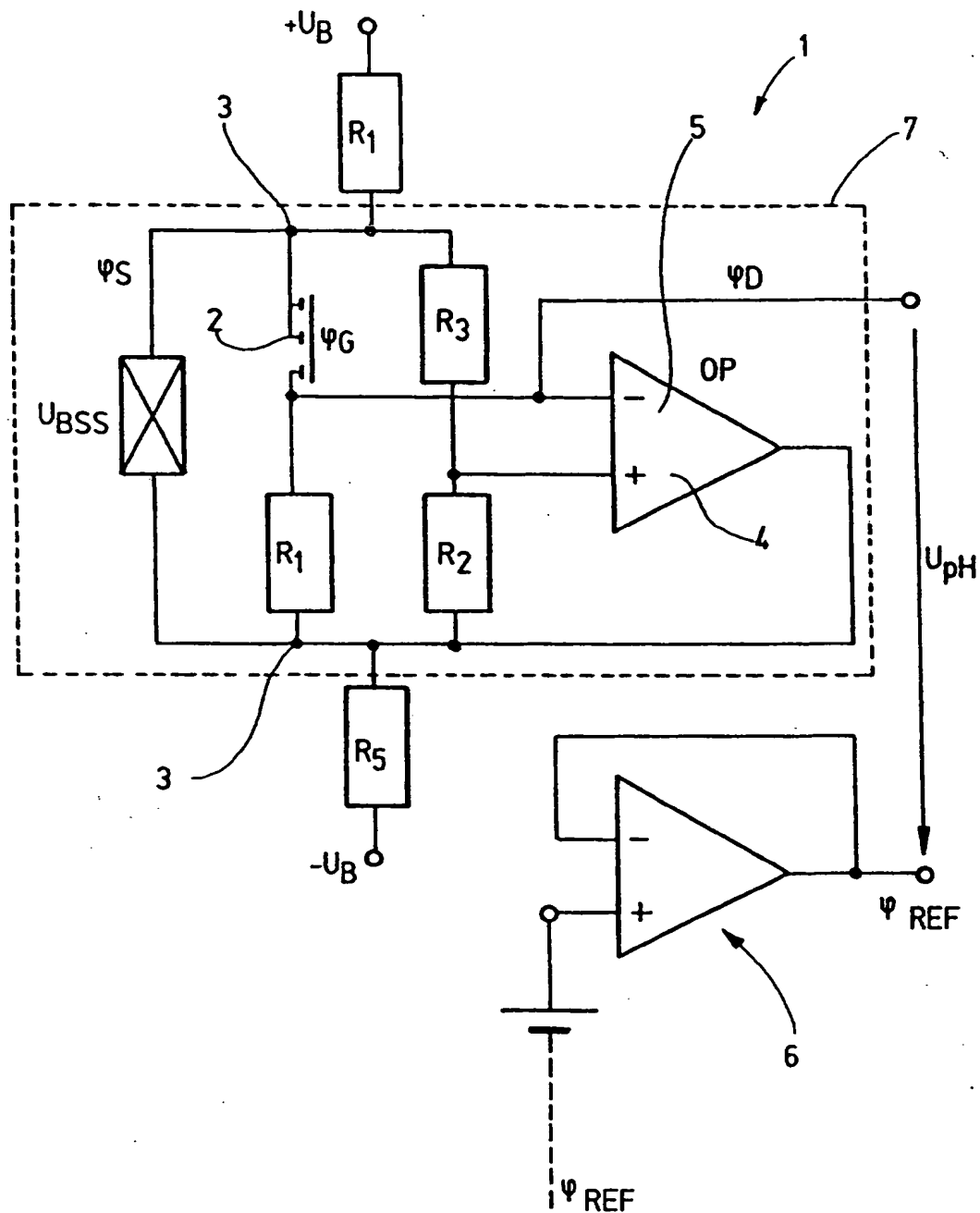


Fig. 1

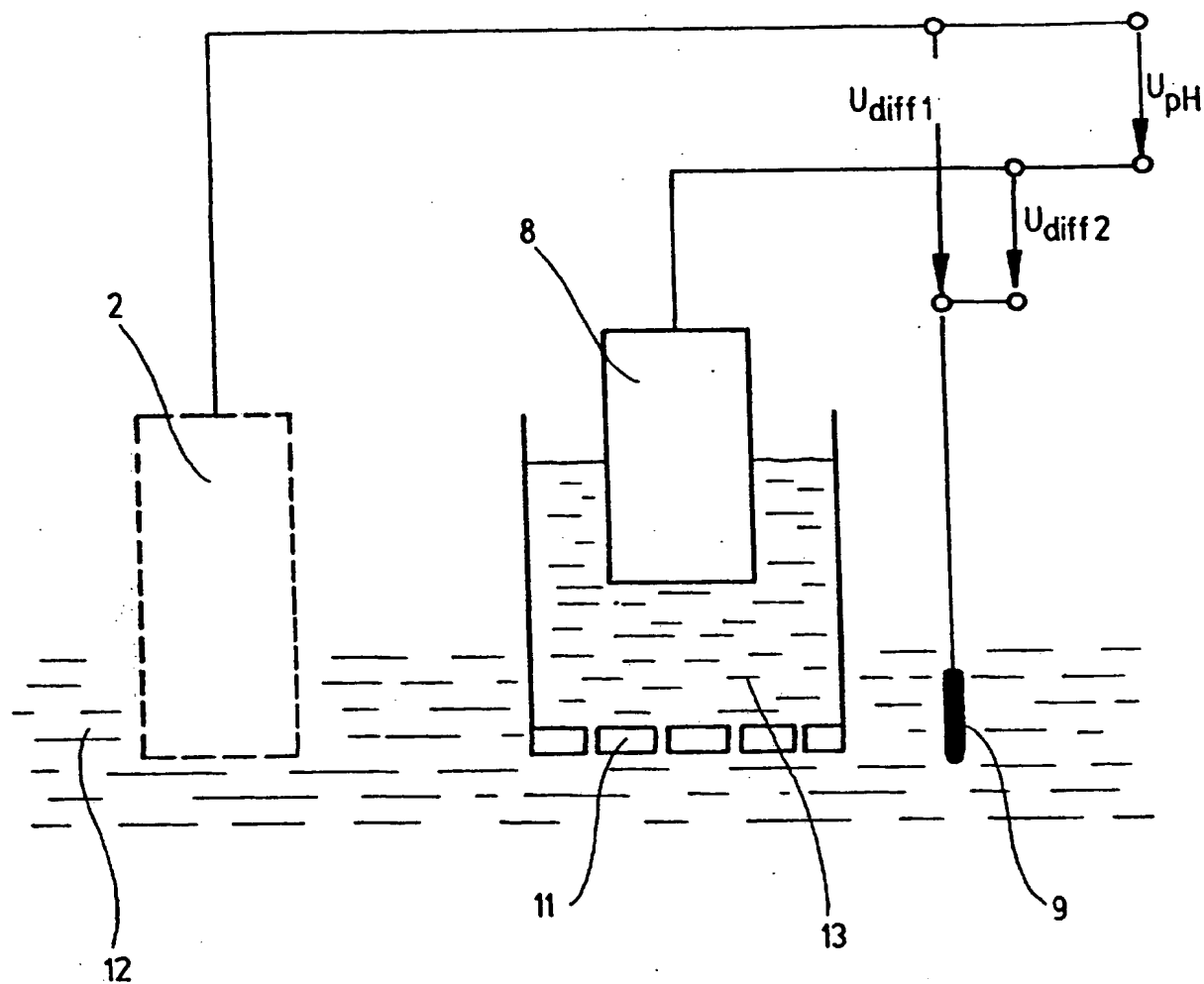


Fig.2